

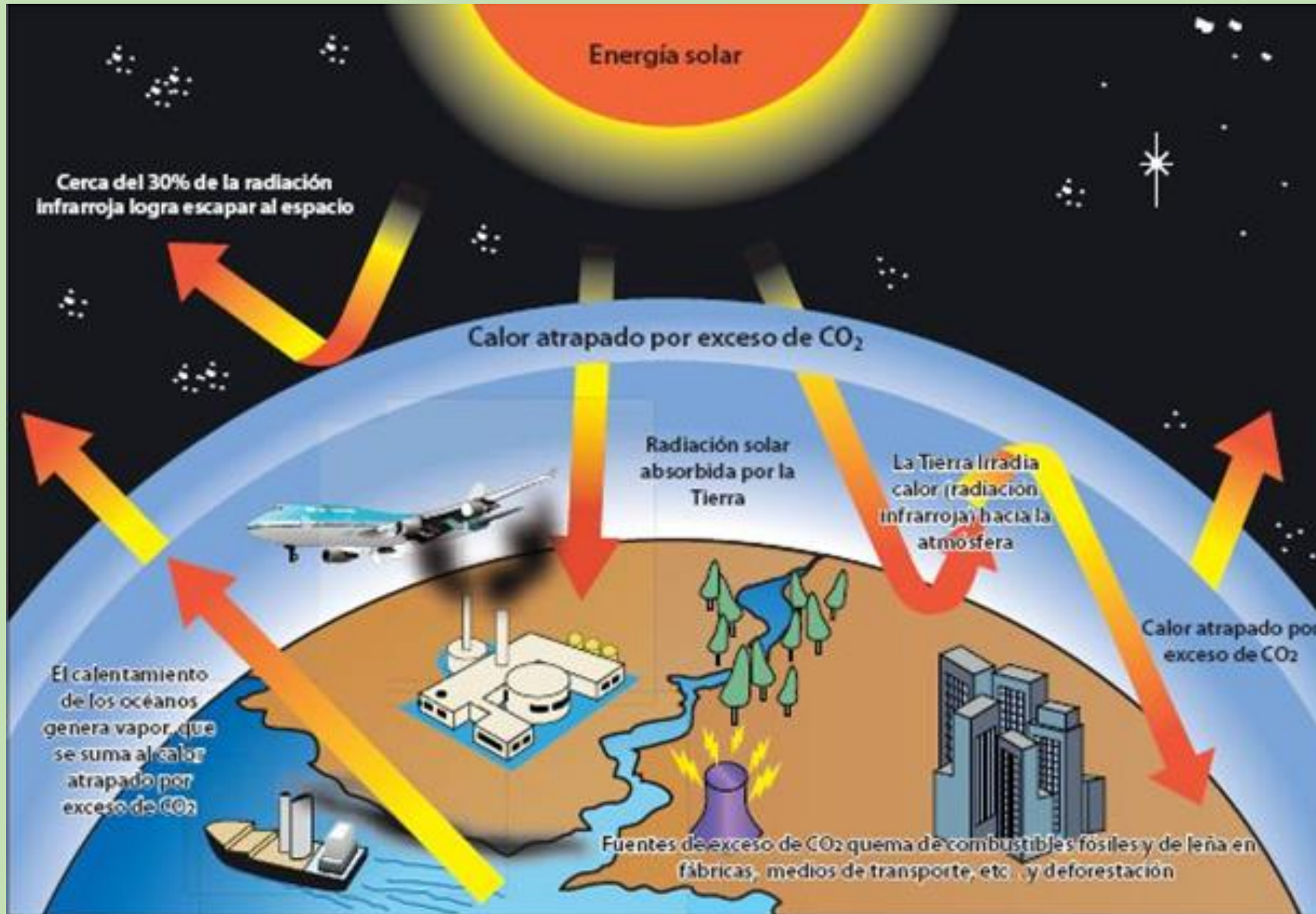


CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL



SINOPSIS


EFEECTO INVERNADERO



- **La presente sinopsis** se basa en el documento escrito por dos de las Academias Científicas más importantes del mundo (USA. Nat. Acad. Sci. y Royal Soc.), el que tenía por objeto que, ante el aparentemente inexorable calentamiento de la Tierra, es necesario dilucidar cuestiones sobre el Cambio Climático **Global** y, a pesar de **que la ciencia claramente nunca** puede establecer en forma definitiva todos los detalles que aún quedan por esclarecer, **se puede concluir que:**
- Las actividades humanas – especialmente el quemado de combustibles fósiles desde el comienzo de la Revolución Industrial han llevado a un aumento de alrededor de 40% en la concentración CO₂ atmosférico, más de la mitad del incremento tuvo lugar a partir de 1970.
- Para posibilitar el acceso a los importantes conceptos desarrollados en el documento original **a todos los individuos** y particularmente **a los educadores**, la sinopsis realizada **se tradujo al castellano para mayor aprovechamiento de los lectores hispanohablantes**.
- Ahora parece más seguro que nunca en el pasado, **el pensar** que la humanidad está cambiando el clima terráqueo basados en una variedad de evidencias. Una de las sustancias que más contribuyen a este calentamiento climático es el dióxido de carbono (CO₂), su incremento en la atmósfera aumentó más del 40 % a partir de 1970 (desde la Revolución industria), especialmente en los últimos 40 años.
- **Para ello se analizan 20 preguntas frecuentes en la sociedad sobre la evidencia del calentamiento climático global; aquí se resumen las contestaciones de los puntos más salientes de esas preguntas.**
- **Todas las ilustraciones que contiene esta sinopsis NO han sido copiadas del documento original.**

Dr. Roberto Fernández Prini, Académico Emérito de ANCEF

Colaboró en la edición Beatriz Calleja, ANCEF



**PREGUNTAS
Y
RESPUESTAS**

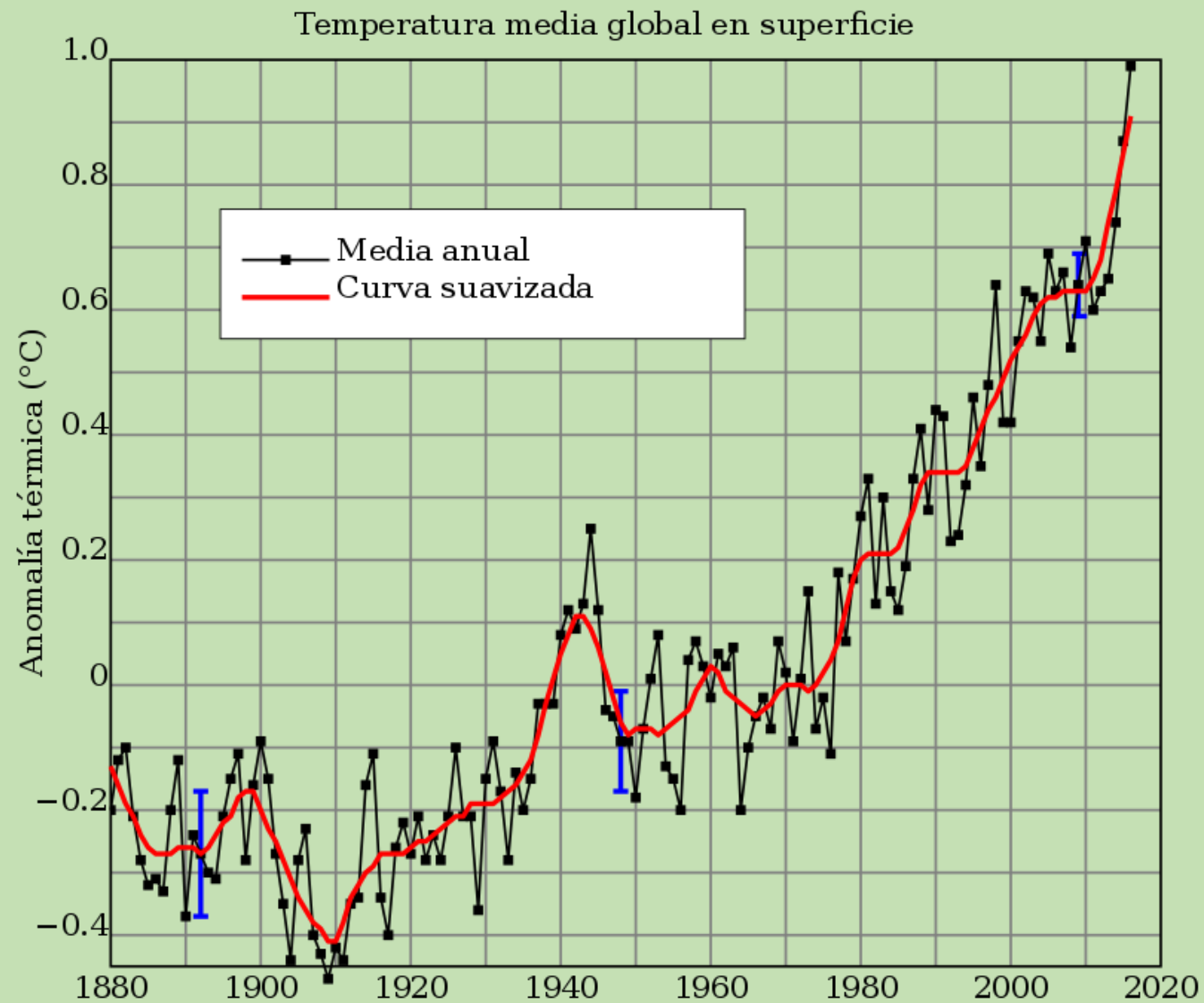
EN EL PRESENTE AÑO (2019) HAN ACAECIDO UNA SERIE DE FENÓMENOS CLIMÁTICOS EXTREMOS QUE REQUIEREN EXPLICACIÓN

¿ESTAMOS EN PRESENCIA DE CAMBIOS CLIMÁTICOS GLOBALES?

- Fusión del hielo en el Ártico.**
- Incendio de la selva de Amazonia y de otros bosques.**
- Inundaciones y sequías que hacen prever que, en algunos países habrá, falta de agua potable en unos pocos años más.**
- Cambios en el discurrir de las corrientes oceánicas.**

1.- ¿Se está calentando el clima?

Sí, la temperatura superficial terrestre ha aumentado 0,8 °C desde 1900, con un 40 % de este aumento registrado a partir de 1970. En ese período se han calentado la atmósfera baja y también las capas superiores de los océanos. La capa de hielo en Groenlandia disminuye (**noticia que recientemente ha impactado al mundo**) y el nivel del mar está creciendo.



Media global del cambio de temperatura en **tierra y mar** en 1880-2014, respecto a la media de 1951-1980. La línea negra es la media anual y la roja la [media móvil](#) de cinco años. Las barras azules indican estimaciones de incertidumbre. Fuente: [NASA GISS](#).

2.- ¿Cómo saben los científicos que los cambios recientes del clima son fundamentalmente causado por actividades humanas?

Ello se debe a que los científicos, por estudios de Física Básica, y comparándolos con los resultados de modelos y con las observaciones, el cambio se advierte en pequeñas alteraciones de los patrones **habituales que son causadas por influencias humanas y naturales**. El balance de energía (calor) se conoce ahora desde 1800 hasta el 2012 (ver Fig PyR 7), lo que se debe tanto al CO₂ en el aire, como al calor atrapado en el hielo formado naturalmente. Las estimaciones para ese período con modelos climáticos arrojan solo un pequeño calentamiento.

3.- El CO₂ ya existe naturalmente en el aire. ¿Entonces por qué su emisión por la actividad humana es tan importante?

Las actividades humanas han perturbado significativamente el ciclo natural del carbono puesto que se **extraen combustibles fósiles enterrados durante muchos años**, los que son quemados para extraer energía liberando CO₂. La deforestación también contribuye a liberar CO₂ a la atmósfera. Solo un 0.1 % de la cantidad de CO₂ incorporada se debe a las erupciones volcánicas, lo que es equivalente a la emisión producida por rocas expuestas al aire. El análisis más detallado muestra que los **isótopos del carbono** no influyen en estos cálculos. Esto es sustentado por el análisis de la concentración de CO₂ en la profundidad de glaciares que muestra que su concentración ha aumentado respecto de lo que fue en los últimos 800,000 años. (Ver figuras en PyR 7).

4.- ¿Qué rol ha tenido el sol en el cambio climático en las décadas recientes?

Si bien el sol ha sido la principal fuente reguladora del sistema climático terrestre, sus cambios solo han tenido un efecto menor en los cambios climáticos observados en los años recientes. Por lo tanto se concluye que los cambios de emisión solar no han influido en el **CCG**.

5.- ¿Qué nos dicen los cambios en la temperatura de la estructura atmosférica vertical -desde la superficial hasta la estratosfera- y sobre las causas de los recientes cambios del clima?

Sobre el calentamiento de la atmósfera baja y el enfriamiento en la parte superior de la atmósfera, se sabe que los factores naturales no pueden producirlos. Hasta hace unas decenas de años no había manera de calcular el efecto del CO₂ en los distintos niveles verticales de la atmósfera, ahora con nuevos modelos se verifica la coincidencia de las observaciones con esos nuevos modelos. Todavía hay pequeñas diferencias, las más notables son los cambios en la troposfera tropical y en el Ártico.

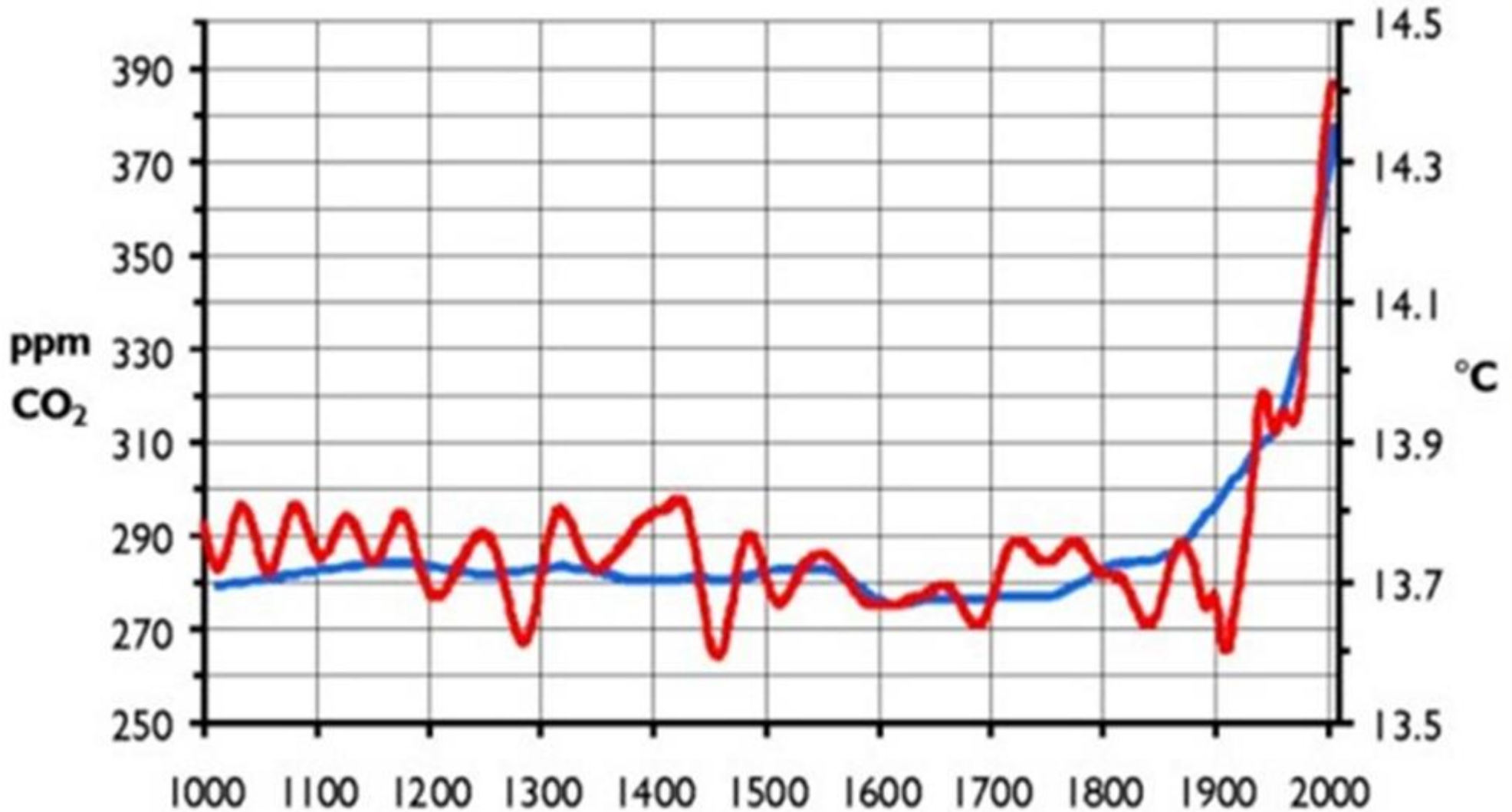
Donde se observan cambios, los modelos predicen mayor cambios en las temperaturas de esas regiones que los observados.

6.- El clima cambia siempre. ¿Por qué el cambio climático es ahora una preocupación?

Todos los cambios climáticos de envergadura, incluyendo los naturales, son **disruptivos**. Las mediciones de CO₂ en el aire **encontrado en hielo formado en el último millón de años**, muestran que los cambios climáticos son más rápidos ahora que en el pasado. Estimaciones recientes del incremento de la temperatura promedio global desde el fin de la última glaciación, son de entre 4 y 5 °C. Si el incremento de CO₂ continúa descontrolado, un calentamiento de la misma magnitud que el ocurrido desde la última glaciación se espera para el fin de este siglo. Esta velocidad de calentamiento es más de diez veces mayor que la esperada al final de una era glacial y es el **cambio natural más rápido conocido** en una escala global. (ver Figs PyR 7).

7.- El nivel actual de CO₂ atmosférico ¿tiene precedentes en la historia de la Tierra?

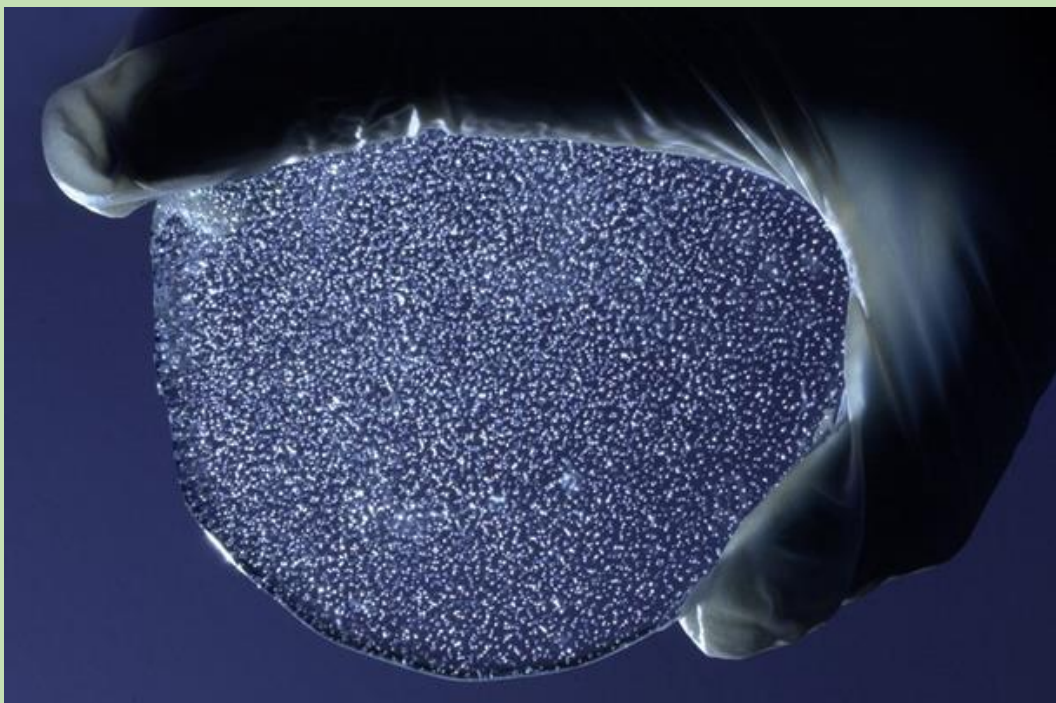
El nivel actual de la concentración de CO₂ en la atmósfera **no tiene ciertamente precedentes en el último millón de años**. Con referencia a tiempos previos, únicamente hace 50 millones de años el CO₂ pudo haber llegado a 1.000 ppm y la temperatura global promedio probablemente sería 10 °C mayor que en el presente. En esas condiciones la Tierra tenía poco hielo y el nivel del mar era mayor que el actual.



Valores de CO₂ atmosférico (rojo) y temperatura media (azul). Se observa que a partir de la Revolución Industrial (entre 1730 y 1830) hay un crecimiento acelerado.



Equipo de investigadores que participaron de la fabricación del instrumento de «sacabocados» o tochos de hielo en las profundidades de las masas de hielo acumuladas.



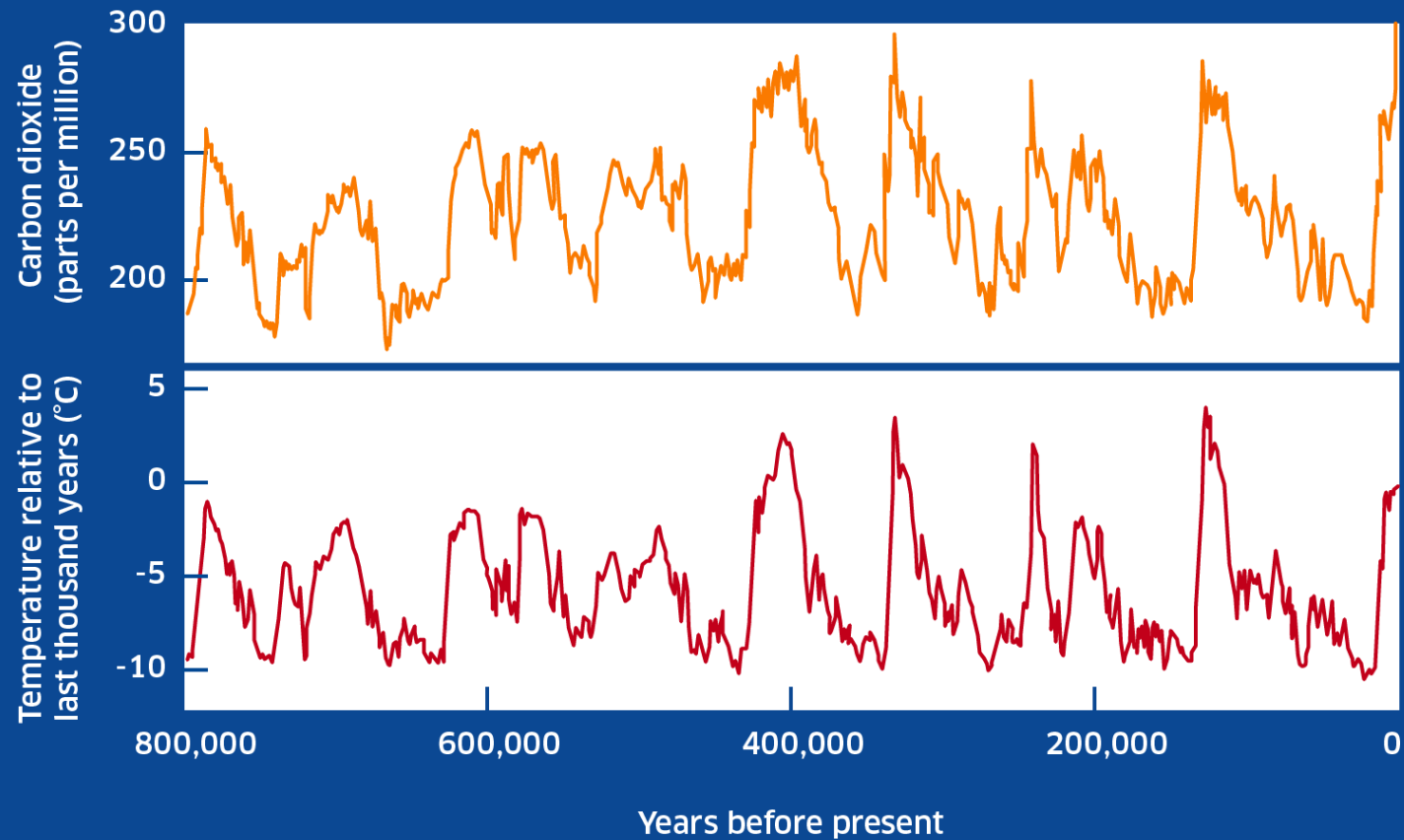
Burbujas de aire en una rebanada del frente de un tocho de hielo



Extracción final de un tocho de hielo en la Antártida

Carbon dioxide levels and Antarctic temperature

(data from EPICA ice core in east Antarctica)



Se puede comparar con el CO₂ en la atmósfera terrestre (comparar con gráfico al comienzo de esta P) donde no se observan cambios bruscos a lo largo de 800.000 años

8.- ¿Hay un punto en el cuál se puede agregar más CO₂ sin provocar mayor calentamiento global?

No. El aumento del CO₂ en la atmósfera causará un **continuo aumento** de la temperatura superficial. Para validar esta afirmación se aportan una serie de importantes datos sobre la **espectroscopía** de esa molécula a distintas temperaturas que favorecería un mayor calentamiento.

9.- La velocidad de calentamiento, ¿cambia de una década a otra?

Sí, y varía de año en año, de década en década, y de lugar en lugar, pero esas son variaciones debidas a cambios naturales de cierta duración. Sin embargo pueden también reflejar el efecto de la producción antrópica. Se diferencian de efectos del CCG porque no siguen un patrón preciso de variación a lo largo de años.

10.- El reciente retraso del calentamiento ¿implica que el cambio climático global no opera más?

No. A partir del muy caluroso año 1998 que siguió al fuerte El Niño de 1997-98, el incremento en la temperatura superficial promedio ha mostrado una disminución relativa a la década precedente de rápido aumento de temperatura. Las décadas de lento calentamiento, así como las de calentamiento acelerado, ocurren naturalmente en el sistema climático; el CCG se manifiesta en variaciones que perduran por muchos años. La mayor parte del calor agregado a la Tierra es absorbido por los océanos. Estudios recientes muestran que parte del calor proviene de los océanos que pasa a la atmósfera durante eventos El Niño que son cálidos, y más calor penetra en el océano profundo en episodios fríos de La Niña. Estos cambios ocurren repetidamente en escalas temporales de décadas y aún más largos. Un ejemplo es el mayor evento El Niño en 1997-98 cuando la temperatura aumentó al mayor nivel en el siglo XX mientras el océano perdía calor que iba a la atmósfera, principalmente por evaporación. El efecto continuado del calentamiento climático también es evidente en la tendencia creciente en el contenido de calor oceánico y del aumento del nivel del mar, así como en la continuada fusión del hielo del mar Ártico, de los glaciares y en la capa de hielo en Groenlandia.

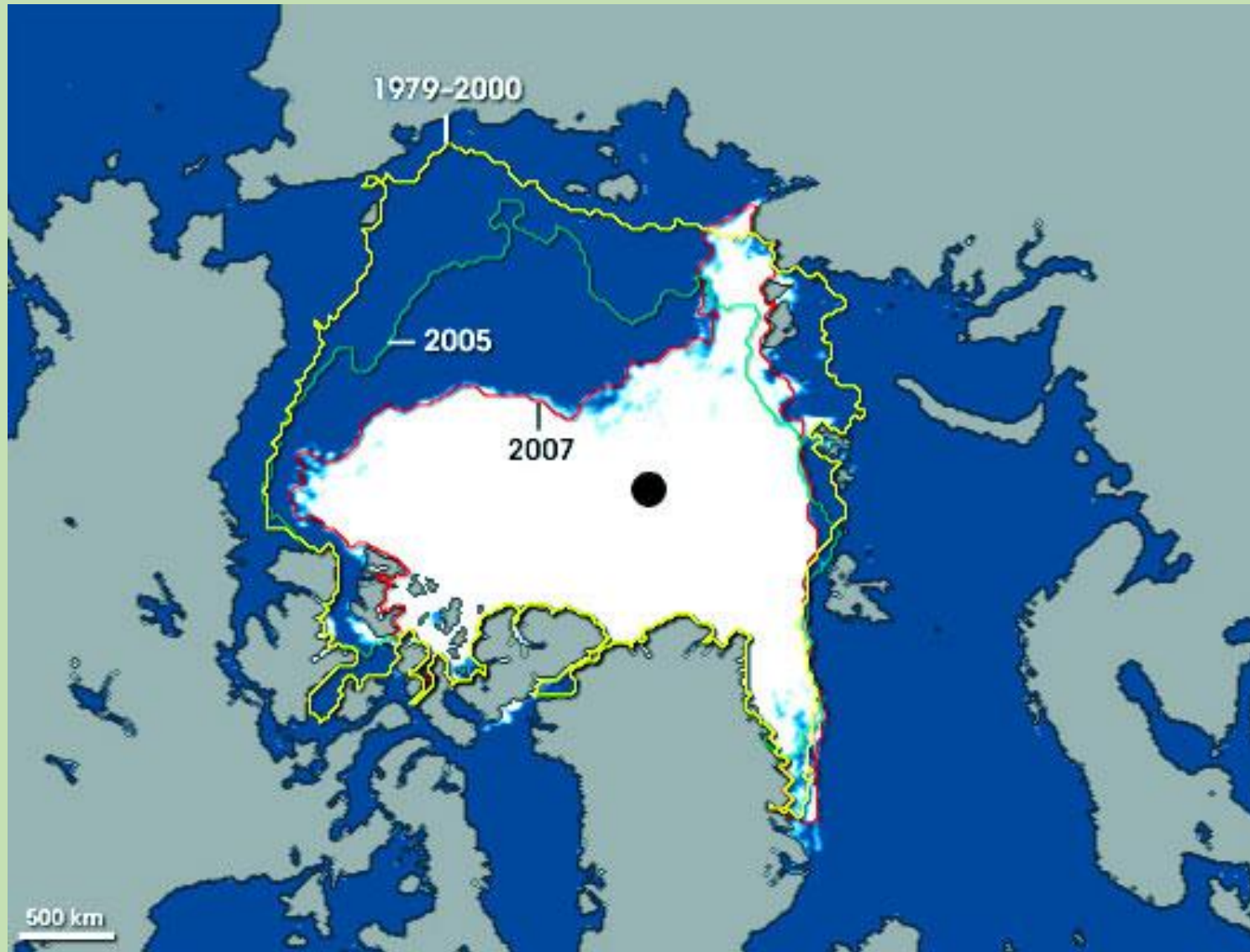
11.- Si el mundo se está calentando, ¿por qué hay inviernos y veranos más fríos?

El calentamiento global es una tendencia de largo plazo, eso no obsta para que un año deba ser más cálido que el anterior. El cambio climático implica no solamente cambios en la temperatura promedio superficial. El calentamiento global sesga la probabilidad en favor de días y estaciones más cálidas y menos días con estaciones frías. Otro ejemplo importante de cómo se sesgan las probabilidades es que en décadas recientes olas de calor han aumentado su frecuencia en gran parte de Europa, Asia y Australia.

12.- ¿Por qué el hielo del Ártico decrece mientras que el del mar Antártico no?

El hielo marino del Océano Ártico está parcialmente encerrado y parece responder directamente al calentamiento, mientras que cambios en vientos y en el océano parecen dominar los patrones del clima y del hielo marino en el océano que rodea la Antártida.

El hielo marino ha disminuido dramáticamente desde la segunda parte de los años '70. El volumen total de hielo, ha decrecido más rápido que en las décadas pasadas Dado que el hielo refleja mucho la luz, el calentamiento es amplificado cuando el hielo disminuye y más luz solar es absorbida por la superficie más oscura que yace debajo del hielo. Otros factores han contribuido a provocar efectos débiles contrarios en la Antártida.



Glaciación en la zona ártica en diferentes años

13.- ¿Cómo afecta el cambio climático la fuerza y la frecuencia de inundaciones, sequías, huracanes y tornados?

La atmósfera baja se está calentando y humidificando como resultado de gases invernadero emitidos por actividades humanas. Esto provee la potencia para generar tormentas y algunos eventos climáticos severos. Sin embargo, atribuir eventos extremos del clima al cambio global es un desafío porque esos eventos, **por definición**, son raros y por lo tanto difíciles de ser evaluados con seguridad, y están afectados por las formas de variabilidad naturales del clima (sequías, inundaciones, cambios en El Niño y/o en La Niña). Existe una **considerable incerteza en relacionarlos con el CCG**, pero hay una alta probabilidad de que lo estén.

14.- ¿Cuán rápido aumenta el nivel de los mares?

A través de muchas observaciones se concluye que ahora el promedio global del crecimiento de los mares es de 3,2 mm/año. El incremento general desde 1901 es de unos 20 cm. Los efectos de aumento en el nivel del mar se sienten más agudamente en el incremento del surgimiento de grandes olas y de tormentas. Si el CO₂ y otros gases invernadero continúan aumentando de acuerdo a su comportamiento actual, se proyecta que el nivel del mar pueda aumentar entre 0,5 m y 1 m. Es difícil predecir detalles de cómo Groenlandia y las capas de hielo Ártico continuarán perdiendo masa, mientras las partes más frías de la Antártida pueden ir ganando masa por recibir más nevadas debidas al aire que será más cálido y contendrá más humedad. El nivel del mar en el último período (cálido) fue alrededor de 125.000 años atrás, tuvo un pico de 5 a 10 m sobre el nivel en el presente; en consecuencia el nivel el mar crecerá.

15.- ¿Qué es la acidificación del océano y por qué importa?

Observaciones directas han demostrado que los océanos tienen ahora mayor acidez ($< \text{pH}$). Esto implica que muchos de los organismos marinos son afectados, especialmente los crustáceos y los corales: los caparazones son más débiles y deformes. También la acidificación altera los ciclos de nutrientes y a los ecosistemas.



La caparazón de la almeja (bivalvo) es evidente en esta ilustración a un pH ligeramente más ácido de lo normal

16.- ¿Cuán seguros están los científicos de que la Tierra se calentará más en el próximo siglo?

Muy seguros. Si las emisiones continúan su patrón presente, sin disponer de reglas para disminuirlo, ora por tecnologías o por reglamentaciones, entonces el calentamiento de 2,6 a 4,8 °C mayor que el ya producido es lo esperado que ocurra para fines del siglo XXI. Una duplicación del CO₂ atmosférico que existía en el nivel del período pre-industrial (hasta aproximadamente 560 ppm) sería de por sí, y sin amplificaciones por otros efectos, la causa de un aumento en la temperatura global promedio de 1 °C. No obstante el incremento de calentamiento por un aumento en la emisión dependerá en las cadenas de efectos que individualmente pueden ya sea incrementar o disminuir el calentamiento inicial. El más importante factor amplificador de la retroalimentación es causada por el vapor de agua que es un potente gas invernadero en la atmósfera.

17.- Los cambios climáticos de unos pocos grados, ¿son causa de preocupación?

Sí. El calentamiento global de unos pocos grados estará asociado con cambios prevalentes regionalmente y a temperaturas locales y precipitación también con aumentos. La teoría y la observación directa han confirmado que el calentamiento global está asociado con un mayor calentamiento sobre la tierra que sobre los océanos, la humidificación de la atmósfera, cambia los patrones de precipitación regional y aumenta en los eventos extremos. Estos impactos se espera que aumenten con el mayor calentamiento.

18.- ¿Qué hacen los científicos para resolver las incertidumbres claves en nuestra comprensión del sistema climático?

La ciencia es un proceso continuo de observación, comprensión, modelado, ensayos y predicciones. La predicción para la tendencia en el largo plazo del calentamiento global por aumento de los gases invernadero es robusta y ha sido confirmada por un creciente cuerpo de evidencia. No obstante, la comprensión de ciertos fenómenos, es aún incompleta. Todas ellas son áreas de una investigación activa. Juntos, los datos de laboratorio y de campo, así como la comprensión teórica permiten crear modelos avanzados del sistema climático de la Tierra. Esto es crítico para simular con precisión el cambio climático y los cambios asociados en eventos climáticos severos, especialmente en escalas regionales y locales para tomar decisiones políticas. Uno de los problemas no resueltos es simular el comportamiento de las nubes y su efecto sobre el CCG. A estos problemas están abocados docenas de grupos de investigación.

19.- ¿Son los escenarios de desastres que siguen a puntos de máximo, 'como detener la Corriente del Golfo y liberar el metano del Ártico', causa de preocupación?

Los resultados de los mejores modelos disponibles no predicen cambios abruptos en esos sistemas (frecuentemente referidos a puntos de máximo [**tipping points**]) en el futuro cercano. Sin embargo, si el calentamiento aumenta, las posibilidades de cambios abruptos no pueden ser despreciadas. La composición de la atmósfera está cambiando hacia condiciones que no han sido observadas por millones de años, así nos estamos dirigiendo a un territorio desconocido, y la incertidumbre es grande. El sistema climático involucra muchos procesos competitivos que podrían hacer saltar al clima a un estado diferente una vez que el umbral se haya excedido. Un ejemplo bien conocido es el cambio en la circulación sur-norte del océano. Tales cambios de alto riesgo son considerados poco probables en este siglo, pero por definición son difíciles de predecir. Los científicos continúan estudiando la posibilidad de tales cambios en los picos (**tipping points**) que pueden alterar el riesgo de cambios grandes y abruptos.

Tipping points: puntos de inflexión, es decir, de cambio de curvatura según la jerga del cambio climático. En realidad son puntos de inflexión matemáticos que abruptamente casi siempre son discontinuidades que no vuelven muchas veces al comportamiento anterior al punto de inflexión.

20.- Si las emisiones de gases invernadero se detuvieran ¿regresaría el clima a las condiciones de 200 años atrás?

No. Aun cuando las emisiones de gases invernaderos fueran detenidas de golpe, la temperatura de la superficie de la Tierra no se enfriaría inmediatamente regresando a los niveles de la era preindustrial por miles de años. Un significativo enfriamiento se requeriría para revertir la fusión de los glaciales y en las capas de hielo de Groenlandia, las que se formaron durante climas fríos del pasado. La actual concentración de CO₂ que ha inducido el calentamiento de la Tierra es esencialmente irreversible en escalas temporales humanas. La cantidad y velocidad de más calentamiento dependerán casi enteramente en cuánto más CO₂ emita la humanidad.

Lo Básico del Cambio Climático

Los gases invernadero afectan y agravan el equilibrio de energía y contribuyen al cambio global

El sol actúa como la fuente primaria para el clima de la Tierra. Parte de la luz solar que llega es reflejada directamente hacia el espacio, especialmente por las superficies reflejantes tales como el hielo y las nubes, y el resto es absorbido por la superficie y por la atmósfera. Mucha de la energía solar absorbida es remitida como calor (de larga longitud de onda o radiación infrarroja). **La atmósfera a su vez absorbe y refleja calor**, parte del cual escapa al espacio. Cualquier perturbación a ese balance entre energía entrante y remitida afectará al ambiente. Por ejemplo, pequeños cambios en la energía solar afectará el equilibrio directamente.

Si la energía emitida desde la superficie pasara totalmente a través de la atmósfera hacia el espacio, la superficie de la Tierra tendría decenas de grados menos en su temperatura superficial promedio que en el presente. Los gases invernadero en la atmósfera, incluyendo el vapor de agua, dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, actúan para hacer que la superficie sea más cálida, porque ellos absorberían y emitirían energía térmica en todas las direcciones (incluyendo hacia abajo). Manteniendo la superficie de la Tierra y la baja atmósfera calientes. Sin el efecto invernadero, la biósfera como la conocemos no hubiera podido evolucionar en nuestro planeta.

Los gases invernaderos emitidos por la actividad humana alteran el equilibrio de energía y, por lo tanto su clima.

Aprenda más sobre otras causas humanas del clima global

Además de emitir gases invernaderos, las actividades humanas han alterado el equilibrio de energía en la Tierra a través de, por ejemplo:

-Cambios en el uso de las tierras. Cambios en la forma en que la gente utiliza las tierras – por ejemplo para o utilizar la madera de los bosques y generar espacio para granjas o ciudades.

-Emisión de contaminantes (otros que los gases invernadero). Algunos procesos industriales y agrícolas emiten contaminantes que producen aerosoles (pequeñas gotas o partículas suspendidas en la atmósfera) La mayoría de los aerosoles enfrían la Tierra al reflejar la luz solar hacia el espacio. Algunos aerosoles también afectan la formación de nubes, lo que puede tener tanto efectos de calentamiento o enfriamiento según su tipo y localización. Partículas de carbón negro (hollín) producido cuando se queman combustibles fósiles o vegetales, generalmente producen un efecto de calentamiento porque absorben la radiación solar que llega a la Tierra.

Conclusión

Los ciudadanos y los gobiernos deben elegir entre distintas opciones (o una mezcla de esas opciones) en respuesta a esta información: ellos pueden cambiar los patrones de la producción y uso de la energía para limitar emisiones de gases invernadero y así poder morigerar su producción, disminuyendo la magnitud del cambio climático. O pueden buscar **las hasta ahora no probadas soluciones de la 'geoingeniería'** para moderar los cambios climáticos que ocurrirán si no se procede a reaccionar previamente. Cada una de estas opciones tiene riesgos, atracciones.

Hay un debate importante que debe darse acerca de la elección de opciones, para decidir cuál es la mejor para cada grupo de naciones, y aún más importante para la población mundial en su totalidad. Las opciones deben ser discutidas en una escala global, porque en muchos casos las comunidades que son más vulnerables controlan poco las emisiones tanto en el pasado como en el futuro.